

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO

João Pedro Azevedo Maldos

**O Uso de Programação Multiagente no  
Estudo da Difusão de Inovações Tecnológicas**

SÃO PAULO - SP  
2012

João Pedro Azevedo Maldos

**O Uso de Programação Multiagente no  
Estudo da Difusão de Inovações Tecnológicas**

Relatório de Pesquisa apresentado à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas como requisito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do CNPq/GVpesquisa.

Campo de conhecimento: Administração

Orientador: Professor Dr. Júlio César Bastos de Figueiredo

SÃO PAULO - SP  
2012

João Pedro Azevedo Maldos

**O Uso de Programação Multiagente no  
Estudo da Difusão de Inovações Tecnológicas**

Relatório de Pesquisa apresentado à Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getulio Vargas como requisito do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do CNPq/GVpesquisa.

Campo de conhecimento: Administração

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

Professor orientador – FGV-EAESP

---

Avaliador externo ou interno - Instituição

---

Coordenador da Iniciação Científica  
FGV-EAESP

## RESUMO

O objetivo deste projeto foi estudar como o uso do modelo de difusão de Frank Bass (1969), aliado ao uso de modelos computacionais baseados no paradigma da programação multiagente, podem auxiliar as empresas na formulação e análise de projetos de difusão de inovações tecnológicas. O estudo foi dividido em duas etapas, correspondentes aos trabalhos realizados pelo pesquisador no segundo semestre de 2011 e no primeiro semestre de 2012. Na primeira etapa foi feita a implementação do modelo de programação multiagente proposto por Michael Samuels (2009) para estudar, com base nas teorias de Frank Bass (1969) e Rogers (1995), a difusão de inovações tecnológicas. A segunda etapa, realizada ao longo do primeiro semestre de 2012, estendeu o modelo de Samuels (2009) considerando modificações que incorporam aspectos não considerados no modelo original como, por exemplo, a possibilidade de considerar variações nos parâmetros de difusão. Tais variações seriam função de outras variáveis exógenas, tais como, por exemplo, a renda da população. Por fim, o modelo final foi convertido em um simulador e disponibilizado no ambiente WEB para estimular o debate e sugestões: <http://technical.paper.nom.br/jmaldos>.

Palavras-chave: Difusão de Inovações, Modelo de Bass, Programação Multiagente, NetLogo

## ABSTRACT

The objective of this project was to study how the use of the diffusion model of Frank Bass (1969), coupled with the use of computational models based on multi-agent programming paradigm, can assist companies in formulating and analyzing projects of diffusion of technological innovations. The study was divided into two stages, corresponding to the work conducted by the researcher in the second half of 2011 and the first half of 2012. The first step was the implementation of multi-agent programming model proposed by Michael Samuels (2009) to study, based on the theories of Frank Bass (1969) and Rogers (1995), the diffusion of technological innovations. The second stage, during the first half of 2012, extended the Samuels (2009) model considering modifications that incorporate aspects not considered in the original model, for example, the possibility of variations in diffusion parameters. Such variations would be function of other exogenous variables, such as, for example, income of the population. Finally, the final model was converted into a simulator and available in a web environment to stimulate discussion and suggestions: <http://technical.paper.nom.br/jmaldos>.

Keywords: Diffusion of Innovation, Bass Model, Multiagent Programming, NetLogo

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
Questões da pesquisa .....	7
Contribuições esperadas .....	7
<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
A difusão de inovações.....	8
A modelagem por agentes .....	9
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
<b>ANÁLISE DO MODELO .....</b>	<b>14</b>
<b>RESULTADOS DA SIMULAÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>CRÍTICA AO MODELO E MODIFICAÇÕES PROPOSTAS .....</b>	<b>20</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>APÊNDICE A - CRONOGRAMA DE TRABALHO .....</b>	<b>28</b>

# Introdução

O presente relatório tem como finalidade apresentar os resultados do projeto “O Uso de Programação Multiagente no Estudo da Difusão de Inovações Tecnológicas”. As etapas, desenvolvidas no período de Agosto/11 a Julho/12, foram o estudo e familiarização do orientando com a linguagem de programação computacional NetLogo; a revisão da literatura sobre a difusão de inovações tecnológicas nos mercados consumidores, com base nas teorias de Frank Bass (1969) e Rogers (1995); e a implementação e posterior modificação do modelo computacional de Michael Samuels (2009). O apêndice A fornece uma visão geral do cronograma de trabalho desenvolvido.

## Questões da pesquisa

A questão principal que se buscou responder foi: como o modelo de difusão de Frank Bass (1969), aliado ao uso de modelos computacionais baseados na programação multiagente, pode auxiliar as empresas na formulação, análise e sustentação de projetos de difusão de inovações tecnológicas?

## Contribuições esperadas

Foram duas as contribuições esperadas com este projeto: primeiro a construção de uma base de conhecimento, por parte do orientando, sobre a programação multiagente e implementação de modelos na área da administração baseados em tal técnica de programação. Segundo, a produção de modelos computacionais desenvolvidos a partir de modificações propostas sobre o modelo de Samuels (2009), voltados ao estudo da difusão de inovações tecnológicas baseado nas teorias de Frank Bass (1969) e Rogers (1995). Tais conhecimentos servem de subsídio para futuras pesquisas de maior complexidade, bem como para o uso em sala de aula em situações de aprendizado.

# Referencial teórico

## A difusão de inovações

O lançamento de novos produtos afeta a vida de todos os indivíduos e comunidades. O mesmo pode ser dito sobre as empresas. Para que uma inovação se torne viável, é necessário conhecer não apenas os processos de desenvolvimento técnico, mas seus estágios de penetração e difusão nos mercados consumidores (ROGERS, 1995).

O modelo de Frank Bass (1969) nasceu da hipótese de que existem dois tipos de consumidores durante o processo de difusão de uma inovação no mercado consumidor. O primeiro tipo corresponde aos indivíduos que adotam a inovação de maneira independente, não recebendo influência de outros consumidores, mas podendo ser influenciados por fatores externos, como a comunicação de massa. Estes indivíduos são denominados “inovadores”. O segundo tipo são os consumidores potenciais que podem ser influenciados pela pressão social do meio, e são susceptíveis à influência dos consumidores que já adquiriram a inovação. São denominados “imitadores”.

Tal hipótese foi transcrita diretamente em um modelo matemático simples. Considere  $S(t)$  o total acumulado no instante  $t$  de consumidores que já adquiriram determinado produto (primeira aquisição), em um mercado de  $m$  consumidores potenciais. No modelo de Bass assume-se que a “pressão de adoção”, ou  $P(t)$ , que corresponde à probabilidade de compra no instante  $t$ , por um consumidor qualquer, é uma função linear da proporção de consumidores que já adotaram o produto, ou seja:

$$P(t) = p + q \cdot \frac{S(t)}{m}. \quad (1)$$

A Equação (1) é a premissa fundamental do modelo de Bass. Se verdadeira, então o parâmetro  $p$  corresponderá à tendência autônoma de qualquer indivíduo adotar o novo produto (HORSKY e SIMON, 1983; KALISH, 1985; KALISH e LILIEN, 1986). Esse parâmetro é chamado de “coeficiente de inovação”. Já o parâmetro  $q$  está ligado à tendência de adoção por parte dos indivíduos motivada pelo “contágio social”, e é chamado de “coeficiente de imitação”.

## A modelagem por agentes

A modelagem baseada em agentes é uma técnica que possibilita o estudo de grupos de agentes (pessoas, organizações ou mesmo nações) com diferentes padrões de comportamento, explorando como interagem entre si e com seu ambiente (AXELROD, 1997). Por meio dela é possível modificar padrões de comportamento, dadas determinadas circunstâncias, a fim de que a resposta obtida para determinada pergunta, feita por outros agentes ou pelo ambiente, seja diferente para cada tipo de agente. A simulação de tais modelos no ambiente computacional permite que surjam propriedades emergentes, decorrentes das interações entre os agentes e o ambiente, possibilitando um maior entendimento do processo dinâmico, o que seria muito difícil de obter com técnicas matemáticas usuais. A propriedade de inteligência emergente de um modelo baseado em agentes surge durante processos de interação de baixo para cima (*bottom-up*) e não do sentido de cima para baixo (*top-down*) (TISUE e WILENSKY, 2004; EPSTEIN, 2006; FIGUEIREDO, J. C. B., 2009). Isto significa que não é um processo de decisão única e centralizada que cria as propriedades do modelo, porém são propriedades que emergem das interações entre os indivíduos do modelo. Os modelos computacionais baseados na programação multiagente são especialmente flexíveis quando se diz respeito à capacidade de resolução de problemas. São capazes de interagir de maneira sofisticada, distinta de outras abordagens computacionais, por meio da cooperação (trabalhar em conjunto para atingir um objetivo), coordenação (organizar a resolução do problema, explorando interações benéficas e evitando prejudiciais) e negociação (procurar atingir um acordo aceitável para as partes). Em difusão de novas tecnologias, por exemplo, cada consumidor é representado por um indivíduo no modelo, um agente autônomo para tomar decisões de compra. Tal agente é dotado de características próprias, que são representadas pelos parâmetros conhecidos no modelo de Bass, obtidas em geral por meio de modelos de regressão não-linear aplicados aos dados históricos de vendas de determinado produto. O agente terá seus interesses próprios e conhecimento sobre os outros agentes, de modo que pode se comunicar no modelo, dentro de determinadas circunstâncias, e modificar seus interesses.

Existem diversos ambientes de programação projetados para a modelagem baseada em agentes. Dentre eles, um dos mais conhecidos e utilizados é o software NetLogo (TISUE e WILENSKY, 2004). O NetLogo é um ambiente de modelagem programável utilizado para explorar o comportamento de sistemas descentralizados complexos. Por ser gratuito, possui grande penetração na área acadêmica e de pesquisa. É particularmente bem

conceituado para modelagem de sistemas multiagente. O NetLogo fornece um modo simples de programar e controlar um modelo baseado em agentes. Permite que o modelador possa dar, simultaneamente, instruções a centenas ou até milhares de agentes independentes que trabalham paralelamente e ao ambiente em que são postos, tornando possível observar as conexões entre o comportamento de micro-níveis e os de modelos de macro-níveis que emergem das interações de muitos indivíduos.

Modelos do ambiente NetLogo possuem três tipos distintos de agentes: as *turtles*, os *patches* e os *links*, todos com comportamento programável. As *turtles* são os indivíduos do modelo em questão, podendo mover-se pelo ambiente e iniciar interações com outros indivíduos. Os *patches* são cada pequeno pedaço do ambiente considerado separadamente em quadrados, podendo ser programados para influenciar o comportamento das *turtles* de diversas maneiras. Os *links* são agentes que conectam duas *turtles*, formando uma linha reta entre elas.

Os modelos do ambiente NetLogo possuem três aspectos distintos a serem compreendidos. O primeiro é a interface de programação, na qual todas as características dos agentes e do ambiente estão escritas na linguagem de programação (figura 1). O segundo é a interface de manipulação, com os botões de parâmetros, que servem para modificar determinadas características do modelo. Na figura (2) podem-se observar alguns exemplos de botões de parâmetros: da esquerda para a direita, o *slider* que determina a probabilidade de conversa entre agentes; a semente (número aleatório para iniciar o modelo); o botão que coloca os agentes e o ambiente na tela (setup inicial); os botões de ir um, dez e cinquenta passos; o botão de continuar rodando o modelo *ad infinitum*; e o *slider* que determina quantos espaços (*patches*) cada agente irá se mover no ambiente. O terceiro aspecto são as telas nas quais as interações podem ser observadas enquanto o modelo escrito na linguagem de programação é executado com as características escolhidas nos botões de parâmetros. Na figura (3) podem-se observar exemplos de tais telas: da esquerda para a direita, tela na qual é possível observar a movimentação dos agentes (no caso, cada qual com uma cor de acordo com suas características); e tela na qual é possível analisar com maior cuidado o que ocorre em cada passo do modelo (no caso, é possível observar quais agentes estão conversando durante o passo 10).

```

File Edit Tools Zoom Tabs Help
Interface Information Procedures
Find... Check | Procedures |  Indent automatically

to mover
  rt random-float 45
  fd movimento
  setxy pxcor pycor ;centraliza no patch
end

to move-para-longe
  rt random-float 180
  jump int ( s-adota / 100 * max-pxcor ) ;move-se para longe do centro de mass media
  setxy pxcor pycor ;centraliza no patch
end

```

Figura (1) – Um modelo em linguagem de programação multiagente da plataforma NetLogo: uma função que faz com que os agentes se movam no ambiente

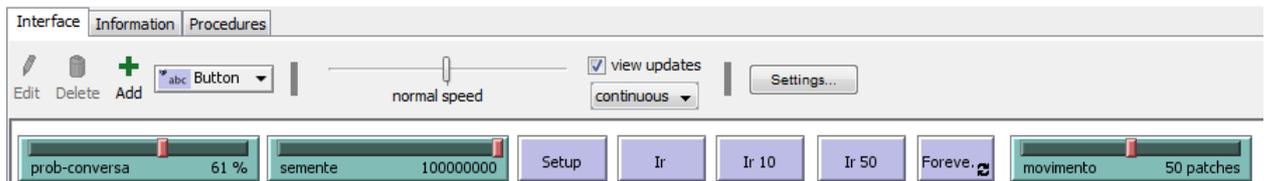


Figura (2) – Alguns botões que modificam características de um modelo

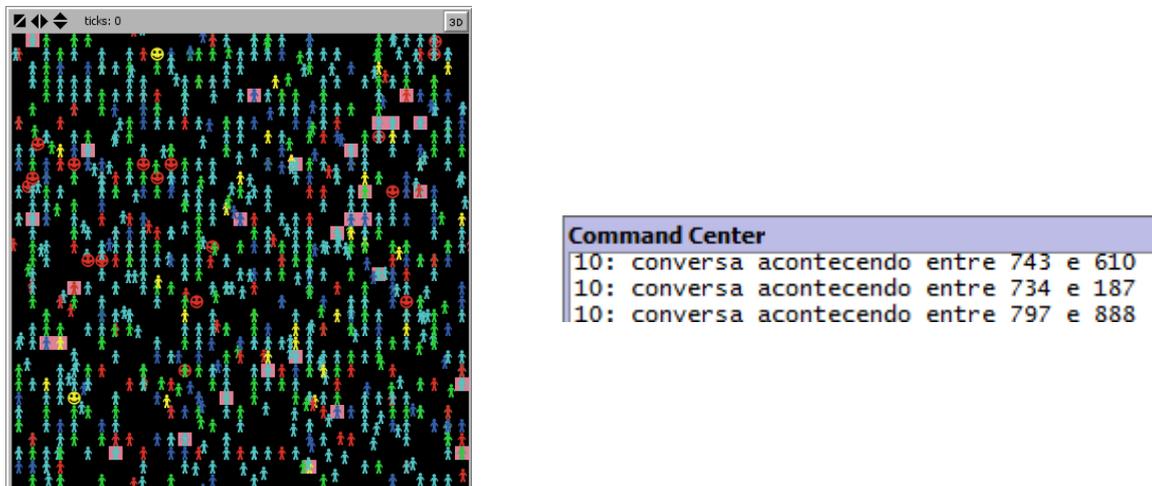


Figura (3) – Telas nas quais se observam as interações entre os agentes e o ambiente

No presente estudo de difusão de inovações no mercado consumidor, o modelo computacional de multiagentes escolhido pode ser encontrado no web sítio do software NetLogo sob o nome de “Innovation” (SAMUELS, 2009). Tal modelo simula alguns aspectos da teoria de difusão de inovações de Frank Bass por meio da programação baseada em linguagem multiagente. A base da teoria está contida no artigo “A New Product Growth Model for Consumer Durables” (BASS, Frank, 1969).

# Metodologia

Uma pesquisa pode ser classificada de quatro formas distintas, de acordo com SILVA e MENEZES (2000) apud ZATTAR, IZABEL CRISTINA (2008): quanto à natureza; quanto à forma de abordagem do problema; quanto aos objetivos; e quanto aos procedimentos técnicos utilizados. A seguir o presente trabalho é classificado.

Quanto à natureza, uma pesquisa pode ser classificada em básica ou aplicada (SILVA e MENEZES, 2000 apud ZATTAR, IZABEL CRISTINA, 2008). Este relatório tem características de uma pesquisa aplicada porque visa analisar brevemente as teorias de sobre difusão de inovações e então aplicá-las na elaboração de modelos computacionais multiagentes.

Quanto à forma de abordagem do problema, uma pesquisa pode ser classificada em quantitativa ou qualitativa. Este relatório não possui as características de uma pesquisa qualitativa, ou seja, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números (SILVA e MENEZES, 2000 apud ZATTAR, IZABEL CRISTINA, 2008). Por outro lado, possui características citadas por SILVA e MENEZES (2000) apud ZATTAR, IZABEL CRISTINA (2008) como sendo uma pesquisa quantitativa: considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números informações para classificá-las e analisá-las, requerendo o uso de recursos e técnicas matemáticas. Dentro do contexto apresentado acima este trabalho é predominantemente quantitativo.

Em relação aos objetivos, uma pesquisa pode ser classificada em exploratória, descritiva ou explicativa (SILVA e MENEZES, 2000; GIL, 1993 apud ZATTAR, IZABEL CRISTINA, 2008). Esta pesquisa tem características de uma pesquisa predominantemente explicativa, porque visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, aprofundando o conhecimento da realidade porque explica a razão, o “porquê”, das coisas.

Quanto aos procedimentos técnicos uma pesquisa pode ser classificada em bibliográfica, documental, experimental, levantamento, estudo de caso ou pesquisa *ex-post-facto* (SILVA e MENEZES, 2000; GIL, 1993 apud ZATTAR, IZABEL CRISTINA, 2008). O presente trabalho se classifica como experimental numérico, pois determina um objeto de

estudo, selecionando-se as variáveis que poderiam influenciá-lo, definindo as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto e finalmente apresentando características de estudo.

Os passos metodológicos de todas as etapas do trabalho estão descritos abaixo:

#### 1. Estudo sobre a linguagem de programação multiagente

- Foram estudados diversos projetos e modelos que utilizam a programação multiagente com o uso da plataforma NetLogo. O objetivo foi familiarizar o orientando com as técnicas necessárias para a implementação de modelos de difusão. A base de estudo é a biblioteca de modelos do NetLogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/index.cgi>);

#### 2. Estudo sobre o modelo de difusão de Frank Bass e suas aplicações

- Foi feita uma revisão da literatura sobre o modelo de difusão de Frank Bass (1969), focando também em modificações feitas por outros autores (ROGERS, 1995; HORSKY e SIMON, 1983; KALISH, 1985; KALISH e LILIEN, 1986) para incorporar variáveis que posteriormente poderão ser incorporadas aos modelos de simulação multiagente;

#### 3. Implementação do modelo computacional de Samuels (2009)

- O objetivo foi reproduzir na plataforma NetLogo os resultados obtidos pelo autor, ao mesmo tempo em que se integram os conhecimentos adquiridos nas duas primeiras etapas.

#### 4. Análise crítica do modelo

- O objetivo desta etapa foi analisar, através de um olhar crítico, o modelo de Samuels (2009) de acordo com o que seria esperado na literatura de um modelo sobre difusão de inovações.

#### 5. Adaptações e modificações

- Com o objetivo de aprofundar o modelo e avançar em uma área pouco explorada do campo (parâmetros variáveis no tempo), foram realizadas modificações no modelo de

Samuels (2009). Com a inclusão da variável temporal Renda e dos coeficientes Alfa e Beta, o usuário não poderá mais escolher diretamente o parâmetro de imitação (“q”, na teoria).

## 6. Disponibilização no ambiente WEB

- O modelo final foi disponibilizado no ambiente WEB, de modo a estimular o debate e sugestões de modificações, além de se tornar uma ferramenta que auxilia no estudo da teoria de difusão de inovações.

# Análise do modelo

Após a familiarização com a linguagem de programação multiagente e com a teoria de Frank Bass (1969) e Rogers (1995) foi realizada a reimplementação do modelo de Samuels. Deste modo, uma maior compreensão de como o modelo funciona internamente pôde ser obtida, assim como a tradução do modelo para a língua portuguesa. O modelo obtido é similar em todos os aspectos ao de Samuels (2009) a não ser pela função de gravar vídeo, que foi retirada neste momento por ser desnecessária para os objetivos atuais do trabalho.

O modelo de Samuels (2009) foca na difusão e adoção de novas tecnologias baseados em dois tipos de influência. São as influências internas (comunicação verbal entre os indivíduos do ambiente) e externas (a mídia, por exemplo). Os agentes, por sua vez, podem estar em três estados distintos com relação à inovação em questão: os Potenciais, que não adotaram a inovação, os Adotantes, que já adotaram uma inovação, e os Rompedores, que estão usando uma inovação ainda mais atual do que os Adotantes. Na teoria de Rogers (1995), há cinco tipos de indivíduos, que são suplementados por dois novos tipos no modelo de Samuels (2009), os “tech2” e os “nulos”:

- "Tech2" são os chamados pela cultura popular de “super-geeks”, que precisam ter as mais novas tecnologias assim que aparecem no mercado;
- "Tech1" são os chamados pela cultura popular de “geeks”, que são os “Inovadores” e estão sempre buscando novas tecnologias;
- "Early Adopters" são os que decidem adotar se a ideia ou tecnologia lhes parece boa;
- "Early Majority" são um pouco hesitantes e esperam para ver que tecnologias os outros estão adotando;

- "Laggards" esperam até a tecnologia ou ideia não ser mais considerada uma inovação;
- "Nulos" são os que nunca irão adotar a tecnologia ou ideia.

Os indivíduos (agentes) no modelo que não estão engajados em uma interação vão realizar os seguintes passos:

1. Pensar sobre seu estado atual, possivelmente mudando de ideia após aceitar a nova tecnologia: podem voltar a ser Potenciais. A probabilidade disto acontecer pode ser modificada pelo *slider* “prob-tech1-para-potencial” no caso dos Adotantes ou “prob-tech2-para-potencial” no caso dos Rompedores. Se forem Adotantes podem se tornar Rompedores, com a probabilidade baseada no valor do *slider* “prob-tech1-para-tech2”. E, se forem Rompedores, podem se tornar Adotantes, com a probabilidade baseada no valor do *slider* “prob-tech2-para-tech1”;
2. Mover-se o número de *patches* cujo valor encontra-se no *slider* “movimento”;
3. Checar se está sobre um *patch* de Centro de Mídia de Massa, no qual poderá aceitar a inovação após ser influenciado;
4. Checar se há algum indivíduo próximo para conversar sobre a inovação. O *slider* “prob-conversa” determina a probabilidade de que dois indivíduos próximos irão engajar-se em uma interação, uma “conversa”, sobre a inovação;
5. Se um indivíduo está interagindo com o outro, ele irá atualizar seu status (decidir se irá aceitar ou não a inovação). Isto só será checado ao final da interação, e não a cada unidade de tempo (uma conversa pode durar mais do que uma unidade de tempo, dependendo do *slider* “duracao-conversa”). A decisão de aceitar ou não a inovação está baseada nos *sliders* de probabilidade de aceitação, “tech1-coeficiente-aceitacao” e “tech2-coeficiente-aceitacao”.

O modelo de Samuels (2009) possui diversos parâmetros demográficos e de influência interna que afetam o comportamento do modelo. A população total pode ser escolhida através do *slider* “populacao-total”, e será dividida em sete categorias, usando uma distribuição cumulativa para determinar o número de indivíduos de cada tipo na população. Por exemplo, o *slider* “prob-cumulativa-tech2” determina a proporção de indivíduos do tipo “tech2” no modelo, em porcentagem. Escolhendo 5% para o tech2, o próximo segmento (tech1) é escolhido pelo *slider* “prob-cumulativa-tech1”, e se o usuário deseja que 5% da população sejam do tipo tech1 deve escolher o valor 10% neste *slider*. Deste modo, é preciso colocar todas as probabilidades cumulativas para que a última categoria (nulos) seja 100%. Se

não há “nulos” no modelo, o *slider* de “laggards” também deve ser colocado em 100%. Há também coeficientes de resistência de aceitação para cada tipo de indivíduo. Os *sliders* “tech1-coeficiente-aceitacao” e “tech2-coeficiente-aceitacao” definem o coeficiente de aceitação para as tecnologias de Adotantes e Rompedores, respectivamente. Este valor será dividido pelo fator do *slider* de cada tipo de indivíduo do modelo. Por exemplo, no *slider* de “tech1-coeficiente-aceitacao” pode ser escolhido o valor cem, e no *slider* de “earlymajority” pode ser escolhido o valor cinco, o que significa que a aceitação das tecnologias tech1 para os agentes do tipo “early majority” ocorrerá ao nível de um quinto do coeficiente de aceitação escolhido anteriormente, ou seja, ao nível de um coeficiente de aceitação com valor vinte (um quinto de cem). A figura (4) exemplifica com alguns valores os *sliders* supracitados.

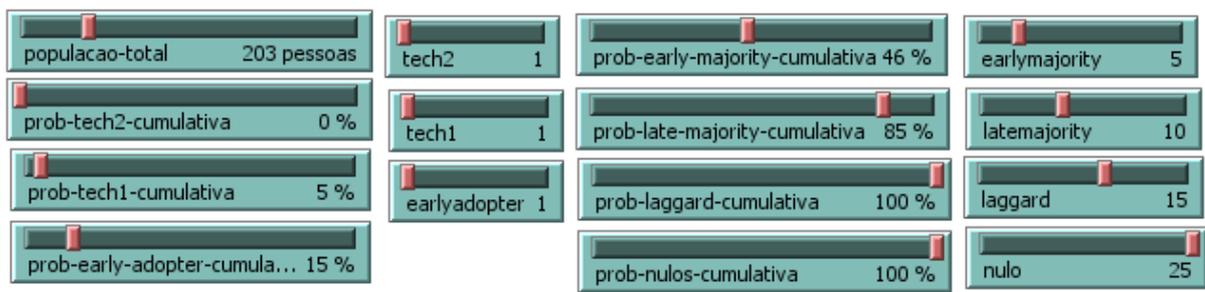


Figura (4) – *Sliders* demográficos e de resistência a aceitação

As influências externas (do ambiente) ocorrem nos Centros de Mídia de Massa, que possuem uma força de influência modificável, assim como sua posição e tamanho no ambiente. Existem dois destes Centros de Mídia de Massa no modelo de Samuels (2009), correspondentes às tecnologias dos Adotantes e dos Rompedores. Utilizando os botões chamados de “Tech1-externa?” e “Tech2-externa?” pode-se adicionar ou retirar estes Centros de Mídia de Massa do ambiente; os *sliders* “x-adota”, “y-adota” e “s-adota” determinam a posição no eixo x, a posição no eixo y e o tamanho dos Centros, respectivamente; e os *sliders* “prob-de-adocao-tech1-externa” e “prob-de-adocao-tech2-externa” determinam a probabilidade de um agente que está localizado no *patch* do Centro de Mídia de Massa de adotar sua tecnologia específica, podendo ser Adotante ou Rompedora, respectivamente (figura 5). Na figura (6) é possível observar dois Centros de Mídia de Massa no ambiente, sendo o maior o de tecnologias dos Adotantes, iniciado pelo botão “Tech1-externa?” e o menor o de tecnologias dos Rompedores, iniciado pelo botão “Tech2-externa?”. É importante notar que dentro dos ambientes de influência externa não irão ocorrer conversas entre os agentes, retirando a possibilidade de influências internas nestes espaços. Os *sliders* “prob-de-adocao-tech1-externa” e “prob-de-adocao-tech2-externa” dizem respeito à probabilidade de

um agente qualquer adotar a tecnologia ao ser influenciado pelo Centro de Mídia de Massas em que está, podendo ser de tecnologias dos Adotantes (tech1) ou Rompedores (tech2).

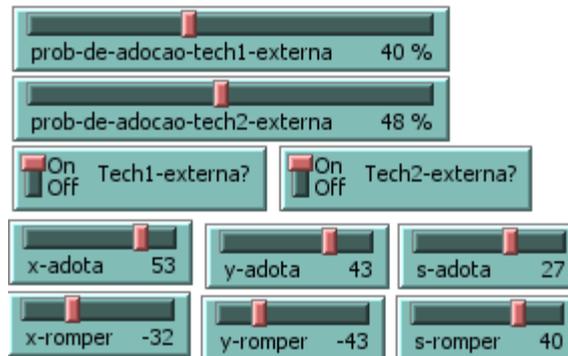


Figura (5) – Probabilidades de adoção baseada em influências externas, botão de adicionar ou retirar os Centros de Mídia de Massa, e botões de posicionamento e tamanho dos Centros de Mídia de Massa

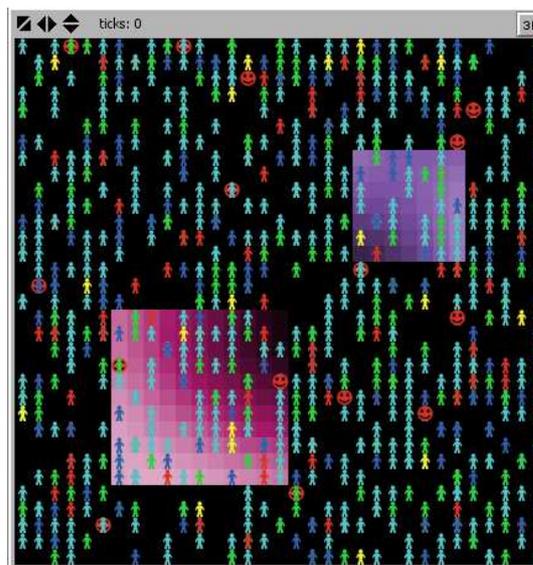


Figura (6) – Os Centros de Mídia de Massa, representados por quadrados de *patches*

## Resultados da Simulação

Os resultados da simulação de Samuels (2009) do modelo de difusão de Bass (1969) variam de acordo com parâmetros escolhidos pelo usuário. Realiza-se uma simulação com os parâmetros apresentados na figura (7). Neste caso, há apenas uma tecnologia sendo simulada, que possui nome de inovação dos Adotantes, ou “tech1”. Foram excluídos desta simulação, portanto, os agentes do tipo “tech2” e “nulos”. Os Centros de Mídia de Massa também foram retirados para que se pudesse observar melhor as influências das conversas entre os agentes.

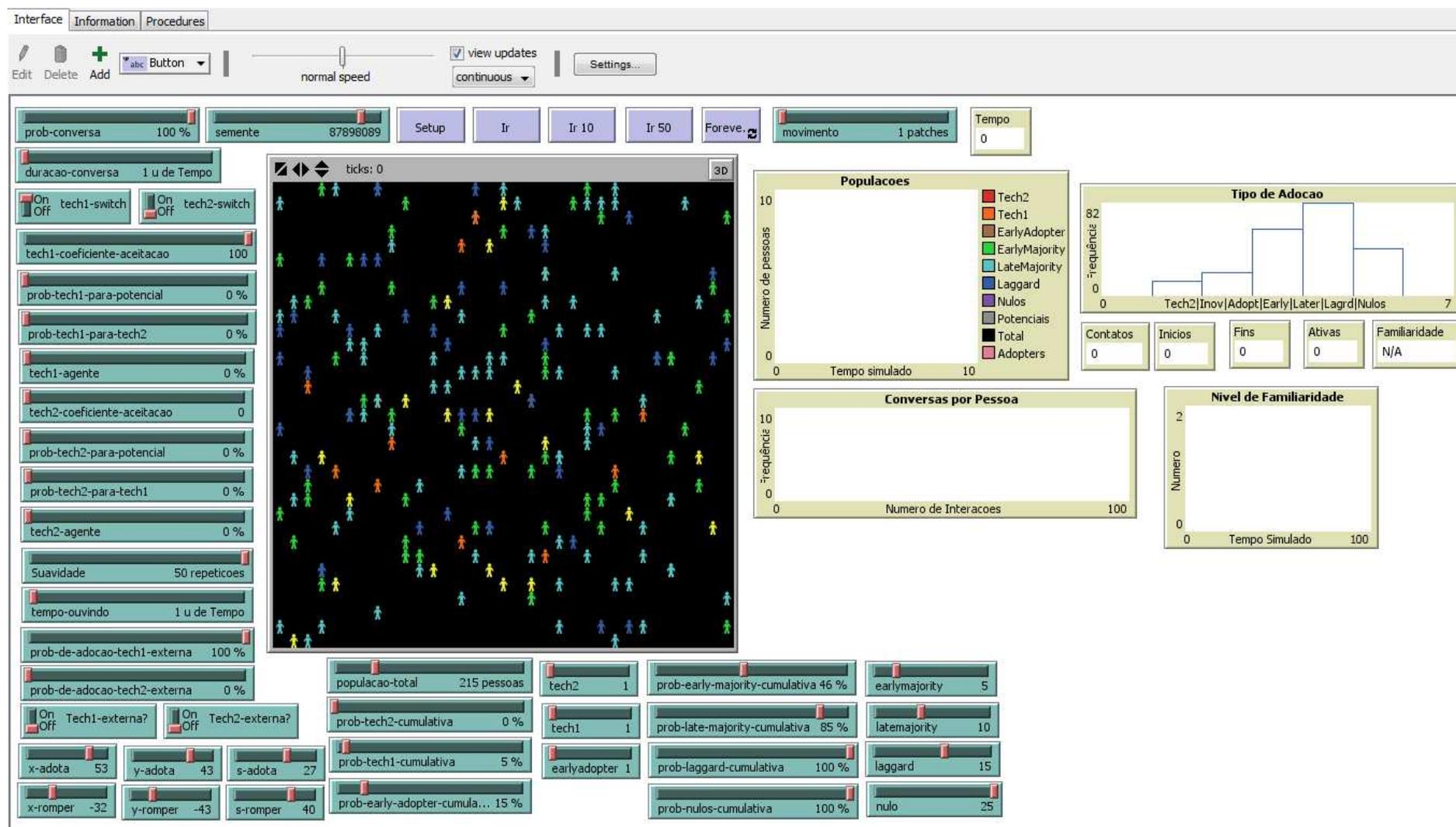


Figura (7) – O modelo de Samuels no Tempo inicial (zero)

Como pode ser observado na figura (8), após cinquenta passos de simulação, o resultado obtido é o decréscimo da população de potenciais, entre todos os tipos de agentes, desde “early adopter” a “laggard”, e o aumento da população de indivíduos que adotaram a inovação. Estes resultados mostram como o modelo segue a teoria de Rogers (1995) ao escolhermos os parâmetros que condizem com as características teorizadas de cada tipo de agente, note que os agentes que já adotaram a inovação influenciam a opinião dos que ainda não adotaram, fazendo com que estes adotem. Na figura (8) podemos notar que a linha da população de potenciais, representando todos os agentes que não adotaram a tecnologia, decresce com o passar do tempo, enquanto as linhas da população de Adotantes (qualquer tecnologia) e Tech1 (adotantes da tecnologia tech1) crescem ao mesmo nível. Também é possível observar que a linha dos agentes do tipo “early adopter” decresce a um ritmo mais acelerado do que as linhas dos agentes dos tipos “early majority” e “late majority”, por exemplo. Isto mostra como há uma resistência à adoção diferente para cada tipo de agente, variando de uma resistência grande à adoção para agentes do tipo “laggard”, por exemplo, a uma resistência pequena à adoção para agentes do tipo “early adopter”, por exemplo.

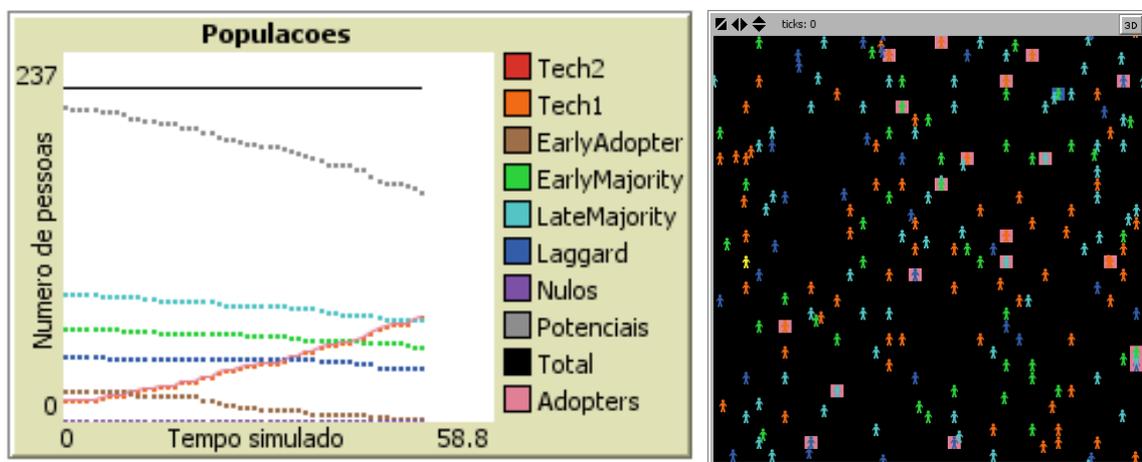


Figura (8) – Resultados da primeira simulação após cinquenta passos

Após a simulação atingir o estado estacionário, não havendo influências externas nem outro tipo de tecnologia, é possível observar que todos os indivíduos adotariam a tecnologia em questão. Isto se mostra verdadeiro ao executarmos o modelo por 400 passos (figura 9). Assim, para este conjunto de parâmetros, a influência das conversas entre os agentes possui papel definitivo na adoção da inovação por parte do que ainda não adotaram. Porém, para um conjunto diferente de parâmetro a influência externa poderia ter o papel principal, ou poderia haver ainda uma mistura das duas influências. Portanto, pode-se reconhecer a versatilidade do modelo em questão quando se trata de simulações para

parâmetros previamente escolhidos, assim como a facilidade com que uma simulação nova pode ser realizada sem a necessidade de reprogramar o modelo.

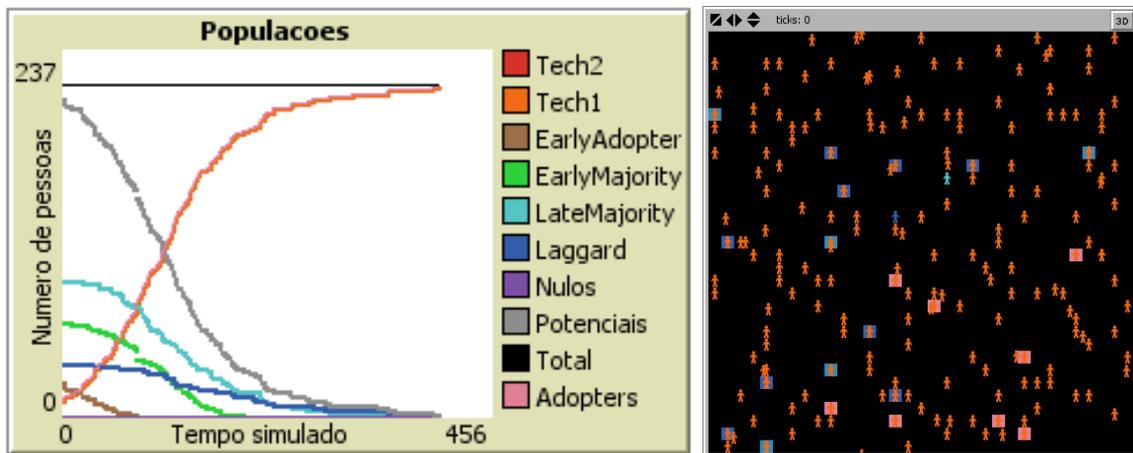


Figura (9) – Observação dos adotantes da inovação (Tech1) tendendo ao máximo de indivíduos

## Crítica ao Modelo e Modificações Propostas

No modelo de Samuels (2009), para que a probabilidade de adoção de uma determinada tecnologia pelo *turtle* em cada conversa seja determinada pelos *sliders* “tech1-coeficiente-aceitacao” e “tech2-coeficiente-aceitacao”, utilizou-se uma função geradora de números aleatórios da plataforma NetLogo chamada “random-float”. Esta função deve ser seguida de um número nos procedimentos do modelo, que será o limite superior, e possui como limite inferior o zero. O modelo, então, utiliza-a para gerar um número real aleatório entre o limite inferior (zero) e o limite superior (número escolhido). A sua utilização no modelo de Samuels (2009) pode ser observada na figura (10).

Deste modo, quanto maior for o valor dos *sliders*, que variam de 0 a 100 no modelo, maior será a probabilidade de que um número gerado aleatoriamente pela plataforma seja menor do que este coeficiente. Isto significa que quanto maior for o coeficiente de aceitação de uma determinada tecnologia, maior será a probabilidade de que o participante da conversa que ainda não adotou a tecnologia adote-a.

```

to interage
  ifelse (tempo <= termina-tempo)
  [
    ifelse (tempo > inicia-tempo)
    [
      print (word tempo ": conversa acontecendo entre " who " e " [ who ] of parceiro )
    ]
    [
      print (word tempo ": ligacao já estabelecida entre " who " e " [ who ] of parceiro)
    ]
  ]
  [
    ifelse tipo > 1 and [ tipo ] of parceiro = 1
    [
      if tech1-switch
      [
        if random-float 100 < (1.0 / aceitacao) * tech1-coeficiente-aceitacao
        [
          set-tech1
        ]
      ]
    ]
  ]
  [
    ifelse tipo > 1 and [ tipo ] of parceiro = 0
    [
      if tech2-switch
      [
        if random-float 100 < (1.0 / aceitacao) * tech2-coeficiente-aceitacao
        [
          set-tech2
        ]
      ]
    ]
  ]
]

```

Figura 10 – Procedimento de interação: a função probabilística que determina a adoção por conversa

Porém, fazer com que o usuário escolha a probabilidade de adoção traz consigo problemas. No modelo de Frank Bass (1969) a probabilidade de adoção emerge do modelo simulado. Deste modo, pode-se afirmar que o procedimento escolhido para a adoção de inovações tecnológicas no modelo de Samuels (2009) traz consigo um problema teórico, já que seus parâmetros internos são dependentes de uma função aleatória da plataforma NetLogo, sobre a qual não temos controle, e a probabilidade de adoção é diretamente escolhida pelo usuário ao invés de emergir das interações internas, como seria preferível.

Para tentar solucionar este problema, sugeriu-se a adoção de um *slider* com uma influência indireta no modelo, minimizando o controle do usuário sobre a probabilidade de adoção no modelo. Ou seja, o usuário poderá escolher quais serão o valor e a força de influência na probabilidade de adoção, mas não poderá escolher a probabilidade de adoção diretamente. Ademais, na literatura podemos encontrar a justificativa para que este parâmetro de influência indireta no modelo varie no tempo, avançando assim na simulação de um modelo o mais próximo possível da realidade de acordo com o ferramental disponível.

Para Putsis (1998), compreender a variação dos parâmetros no modelo é importante por um número de razões: (1) a forma da variação pode prover informações importantes sobre a natureza do processo de difusão, (2) proporciona informações sobre a técnica de estimação correta e/ou o modelo teórico a ser utilizado para estimar os parâmetros relevantes que variam no tempo, e (3) nos permite aperfeiçoar a habilidade de previsão dos modelos de difusão.

Segundo Rosenberg (1973), se a variação de parâmetro é ignorada na estimação, a estimação de “m” (o vetor do parâmetro) tenderá a ser uma média dos vetores individuais dos parâmetros. Desta perspectiva, a resposta à variação de um parâmetro é vista como sendo (i) importante para a realização de um estimador mais eficiente para esta média, (ii) criticamente importante para estimar os valores dos parâmetros individuais como distintos da média, e (iii) essencial na análise do processo do parâmetro.

Na literatura, Horsky (1990) e Paroush (1965) apresentam argumentos convincentes de que os níveis de adoção variam grandemente entre diferentes níveis de renda e ao longo do tempo, sugerindo que enquanto o novo produto é difundido pela população, as elasticidades observadas são prováveis de variar através do processo de difusão também (PUTSIS, 1998). Deste modo, escolheu-se a variável Renda como um parâmetro de influência variável no tempo, sob o qual o usuário terá pouco controle.

Assim, ao invés de diretamente indicar qual será a probabilidade de adoção nas interações do modelo, o usuário irá selecionar o incremento da Renda dos agentes a cada ponto no tempo e também a força de influência desta Renda para as duas tecnologias incluídas no modelo (“tech1” e “tech2”). As equações (2) e (3) apresentam como será calculada a probabilidade de adoção sob estas novas condições. O usuário terá controle sobre os valores de Alfa, Beta e o incremento da Renda em cada instante t no tempo. A figura (11) apresenta o novo procedimento de adoção no modelo de Samuels (2009) modificado. Podemos reparar que a função “random-float” agora flutua de 0 a 50000, número escolhido para que a saturação do modelo não ocorra em poucos passos, já que o incremento da renda faz com que o valor do produto da variável Renda com Alfa ou Beta aumente rapidamente, e assim ultrapasse o valor máximo anterior (100). O modelo de Samuels (2009) com as modificações propostas pode ser observado na figura (12) e pode ser acessado no link <http://technical.paper.nom.br/jmaldos>.

$$P(\text{tech1}) = \alpha * R(t) \quad \text{Equação (2)}$$

$$P(\text{tech2}) = \beta * R(t) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde  $\alpha$  e  $\beta$  representam o quão significativa a Renda do agente será na decisão de adoção das tecnologias “tech1” e “tech2”, respectivamente, e  $R(t)$  é o valor da Renda no instante t.

```

to interage
  ifelse (tempo <= termina-tempo)
  [
    ifelse (tempo > inicia-tempo)
    [
      print (word tempo ": conversa acontecendo entre " who " e " [ who ] of parceiro )
    ]
    [
      print (word tempo ": ligacao já estabelecida entre " who " e " [ who ] of parceiro)
    ]
  ]
  [
    ifelse tipo > 1 and [ tipo ] of parceiro = 1
    [
      if tech1-switch
      [
        if random-float 50000 < (1.0 / aceitacao) * renda * alfa
        [
          set-tech1
        ]
      ]
    ]
  ]
  [
    ifelse tipo > 1 and [ tipo ] of parceiro = 0 |
    [
      if tech2-switch
      [
        if random-float 50000 < (1.0 / aceitacao) * renda * beta
        [
          set-tech2
        ]
      ]
    ]
  ]
]

```

Figura 11 – Novo procedimento de interação, com a Renda variando no tempo

Finalmente, retirados momentaneamente os parâmetros de influência externa para facilitar a compreensão, podemos observar o crescimento da Renda com o tempo e sua influência na saturação do modelo (figura 13). A curva gerada pelo modelo de Samuels (2009) modificado é mais alongada horizontalmente do que a curva original do modelo, sugerindo que o incremento a cada instante na renda faz com que seja mais provável que cada agente adote a tecnologia a cada instante passado. Ou seja, o aumento da Renda causa um aumento na probabilidade de adoção das tecnologias, resultado previsto na teoria, e a saturação do modelo ocorre em menos unidades de Tempo Simulado do que previamente observado.

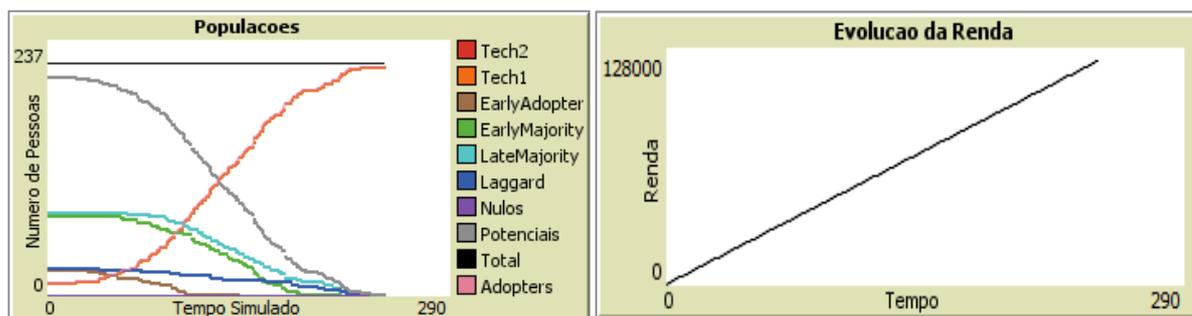


Figura 13 – Saturação do modelo e Evolução da Renda

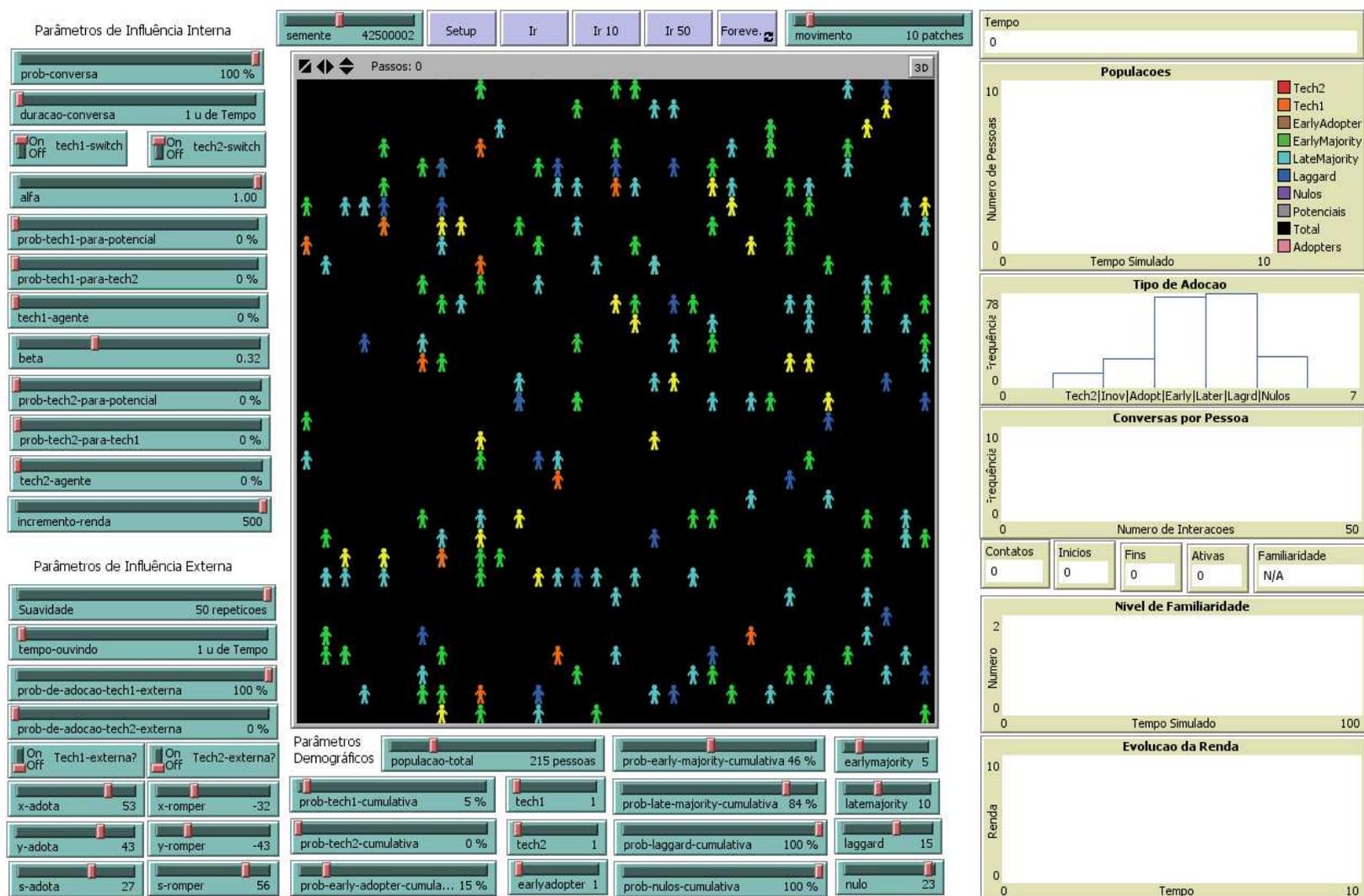


Figura 12 – O modelo de Samuels (2009) modificado no Tempo inicial (zero)

## Conclusão

Na primeira etapa do projeto, pôde-se concluir que o modelo de Samuels (2009) funciona com uma lógica inadequada para estudos mais complexos de difusão de inovações. O ideal seria que as propriedades do modelo emergissem a partir das interações dos agentes, porém as interações são guiadas pelos coeficientes escolhidos pelo usuário. Os coeficientes de inovação e imitação (“p” e “q”, respectivamente, na literatura) não emergem, portanto, de interações do modelo, mas são escolhidos diretamente pelo usuário através dos *sliders*.

Na segunda etapa do projeto foram feitas modificações ao modelo existente. O problema encontrado anteriormente de influência direta do usuário na probabilidade de adoção foi ajustado através da adição de um parâmetro variável no tempo, a Renda do agente. A teoria diz que apesar das várias razões pelas quais a variação dos parâmetros pode ocorrer e apesar dos avanços significantes na pesquisa de difusão ao longo dos anos, a variação de parâmetros apresenta um dos aspectos menos compreendidos nos modelos de difusão (PUTSIS, 1998, tradução nossa). Deste modo, o modelo de Samuels (2009) modificado pode auxiliar futuros estudos no avanço desta compreensão.

A variação dos parâmetros de inovação e imitação com o tempo é um dos aspectos menos compreendidos da difusão de inovação (PUTSIS, 1998). Através do estudo da teoria de difusão de inovações, da implementação e modificação do modelo de Samuels (2009) pôde-se compreender a fundo os problemas enfrentados nesta área do conhecimento, assim como desenvolver um trabalho que sirva como base para próximas pesquisas e estudos, de modo que o campo possa avançar ainda mais.

A programação em linguagem multiagente, portanto, serviu como uma excelente plataforma para a transferência para o ambiente computacional de aspectos da difusão de inovações. É de relativa facilidade de compreensão e de produção de modelos cuja interação pelo usuário é feita por mecanismos intuitivos (botões, *sliders*, etc), sem a necessidade de que este último compreenda da linguagem de programação para utilizar o modelo. Isto significa que um público mais amplo poderá usufruir do modelo de Samuels (2009).

Em conclusão, acredita-se que a questão principal do projeto foi respondida, de modo que o modelo de programação multiagente de Samuels (2009), sustentado pela teoria de Frank Bass (1969), está agora disponível em língua portuguesa no ambiente WEB para a formulação, análise e sustentação de projetos de difusão de inovações tecnológicas.

# Referências

AXELROD, R. Advancing the art of simulation in the social sciences. **Complexity**, v. 3, n. 2, p. 16-22, 1997.

BASS, F. M. A New Product Growth Model for Consumer Durables. **Management Science**, v. 15, n. 5, p. 215-227, 1969.

BORSHCHEV, A; FILIPPOV, A. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. Oxford: **The 22<sup>nd</sup> International Conference of the System Dynamics Society**, 2004

FIGUEIREDO, J. C. B. Estudo da difusão da tecnologia móvel celular no Brasil: uma abordagem com o uso de Dinâmica de Sistemas. **Produção**, v. 19, n. 1, p. 230-245, 2009. ISSN 0103-6513.

FIGUEIREDO, J. C. B. Planejamento orientado por cenários com o uso de modelos causais lineares e diagramas de estoque e fluxo. **Revista Produção Online**, v. 9, n. 2, 2009. ISSN 1676-1901.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

HORSKY, D. The effects of income, price and information on the diffusion of new consumer durables, **Marketing Science**, 9(4) (1990), Fall, 342±65.

HORSKY, D.; SIMON, L. S. Advertising and the diffusion of new products. **Marketing Science**, v. 2, n. 1, p. 1-17, 1983.

KALISH, S. A New Product Adoption Model with Pricing, Advertising and Uncertainty. **Management Science**, v. 31, p. 1569-1585, 1985.

KALISH, S.; LILIEN, G. A market entry timing model for new technologies. **Management Science**, v. 32, n. 2, p. 194-205, 1986. ISSN 0025-1909.

PAROUSH, J. The order of acquisition of consumer durables, **Econometrica**, 33(1) (1965), Janeiro, 225±35.

PUTSIS, William P. Jr. Parameter Variation and New Product Diffusion. **Journal of Forecasting**, v.17, p. 231±257, 1998.

ROGERS, E. **Diffusion of Innovations**. New York: Free Press, 1995.

ROSENBERG, B. A survey of stochastic parameter regression, **The Annals of Economic and Social Measurement**, 2(4) (1973), 381±97.

SAMUELS, M. **NetLogo Innovation Model**. 2009. Disponível em: <  
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/community/innovation>>. Acesso em: 25/08/2011.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2000, 118 p.

TISUE, S.; WILENSKY, U. NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. **International Conference on Complex Systems**, 2004.

ZATTAR, Izabel Cristina. Modelo de simulação baseado agentes para o estudo da influência de planos de processos alternativos na programação da produção em sistemas de manufatura com layout funcional. **Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina**. Florianópolis: 2008.

# Apêndice A - cronograma de trabalho

Cronograma de Atividades 2011-2012

Atividade	Meses											
	ago/11	set/11	out/11	nov/11	dez/11	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12
Estudo dos diversos projetos e implementações de modelos utilizando programação multiagente com o uso da plataforma NetLogo. Familiarização com a linguagem NetLogo	■	■	■	■								
Revisão da literatura sobre o modelo de difusão de Frank Bass, com foco nas modificações feitas por diversos autores. Estudo sobre aplicação dos modelos de difusão.			■	■	■							
Implementação do modelo computacional de Samuels (2009). O objetivo desta etapa é reproduzir os resultados deste modelo computacional para posterior modificação.				■	■	■	■	■				
Preparação do Relatório Parcial de Pesquisa e elaboração do primeiro trabalho a ser submetido para congresso.							■	■				
Análise Prospectiva – Testes e alterações no modelo construído. Nesta etapa final, os modelos computacionais construídos serão utilizados para testar situações do tipo “if-then” simulando cenários.								■	■	■	■	
Apresentação dos resultados. Preparação do Relatório Final para a segunda publicação em congresso.										■	■	■